GALVANOMÈTRES

APÉRIODIQUES

DE GRANDE SENSIBILITÉ

(7)

PAR

M. D'ARSONVAL

PROFESSEUR SUPPLÉANT AU COLLÈGE DE FRANCE

EXTRAIT DE LA *REVUE INTERNATIONALE DE L'ÉLECTRICITÉ ET DE SES APPLICATIONS*

(NUMÉRO 10. AVRIL 1886)

PARIS

GEORGES CARRÉ, ÉDITEUR

112, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 112

1886

DULAU & Co

37, SOHO SQUARE

LONDON W.

GALVANOMÈTRES

APÉRIODIQUES

DE GRANDE SENSIBILITÉ

PAR

M. D'ARSONVAL

PROFESSEUR SUPPLÉANT AU COLLÈGE DE FRANCE

Les différents appareils que je vais décrire ont été combinés pour l'étude de l'électricité et de la chaleur d'origine animale. — Pour ce genre de recherches, il faut des appareils d'une extrême sensibilité et leurs indications doivent en même temps être très rapides; ils peuvent donc être d'un usage général en électrométrie.

Tout appareil électrométrique se compose de deux parties distinctes : 1° le galvanomètre proprement dit; 2° l'appareil qui sert à mesurer la déviation angulaire du galvanomètre.

Échelle micrométrique pour la mesure des déviations angulaires.

Cet appareil permet de mesurer avec une grande précision les plus faibles déviations angulaires. C'est là un double avantage : 1° parce que les indications sont beaucoup plus rapides et 2° parce que les déviations sont proportionnelles aux intensités.

La méthode la plus précise et la plus généralement employée est celle de la lunette et du miroir ou méthode de Poggendorf.

Ce procédé consiste, on le sait, à fixer un miroir plan M à la partie mobile du galvanomètre et à viser l'image d'une échelle divisée E à travers une lunette dont O est l'objectif

Fig. 1.

et L l'oculaire. On obtient ainsi au foyer conjugué de la lentille O une image réelle I plus petite que l'objet, on grossit cette image par l'oculaire L qui porte un réticule vertical

servant de repère pour le pointage. La sensibilité devrait être proportionnelle à la distance OM qui sépare l'échelle du miroir; il n'en est pas ainsi dans la pratique parce que l'image I devient de plus en plus petite quand la distance OM augmente. Il faudrait, pour réaliser cette condition, que le grossissement de l'oculaire L augmentât proportionnellement à la distance OM. Mais alors l'image devient confuse, parce qu'il est très difficile d'obtenir un miroir léger parfaitement plan.

Pour supprimer le défaut j'ai renversé le problème; en I je mets une échelle transparente photographiée sur verre et divisée en vingtième de millimètres (fig. 2). Cette échelle

Fig. 2.

est éclairée par transparence à l'aide d'un prisme P ou d'un miroir plan. La lentille O en donne une image agrandie qui, après réflexion sur le miroir M, vient se former en I' ou on la grossit encore à l'aide d'un oculaire négatif L muni d'un réticule vertical pour le pointage.

J'ai remplacé le miroir plan M, difficile à obtenir, par un miroir concave argenté sur sa face postérieure.

Les miroirs concaves à *faces parallèles* me donnaient des images multiples qui rendaient l'observation impossible, à cause du fort grossissement demandé à l'appareil optique.

J'ai tourné cette difficulté en prenant soit un ménisque convergent comme on le voit en M (fig. 2), soit une petite lentille plan convexe (fig. 3) argentée sur la face postérieure.

Fig. 3.

Le tout forme ainsi avec la lentille O un miroir concave donnant en I' une image parfaite pouvant supporter des grossissements de 100 diamètres.

On comprend, sans que j'insiste, que, par ce mécanisme, *la sensibilité de l'appareil est augmentée dans la proportion du grossissement.*

Il en résulte qu'on peut lire avec une grande précision les plus faibles déviations angulaires, ce qui rend le galvanomètre à la fois très rapide et à indications proportionnelles.

La figure 4 donne une vue perspective de cette échelle.

L'échelle micrométrique est entre le miroir éclaireur et la lentille L. L'oculaire grossissant se trouve au-dessus comme on le voit sur la figure.

L'échelle micrométrique et l'oculaire sont mobiles. En remplaçant cette échelle micrométrique par un simple fil vertical et l'oculaire par une échelle transparente divisée sur celluloïde (figurée en pointillé sur le dessin), on transforme l'appareil en une échelle

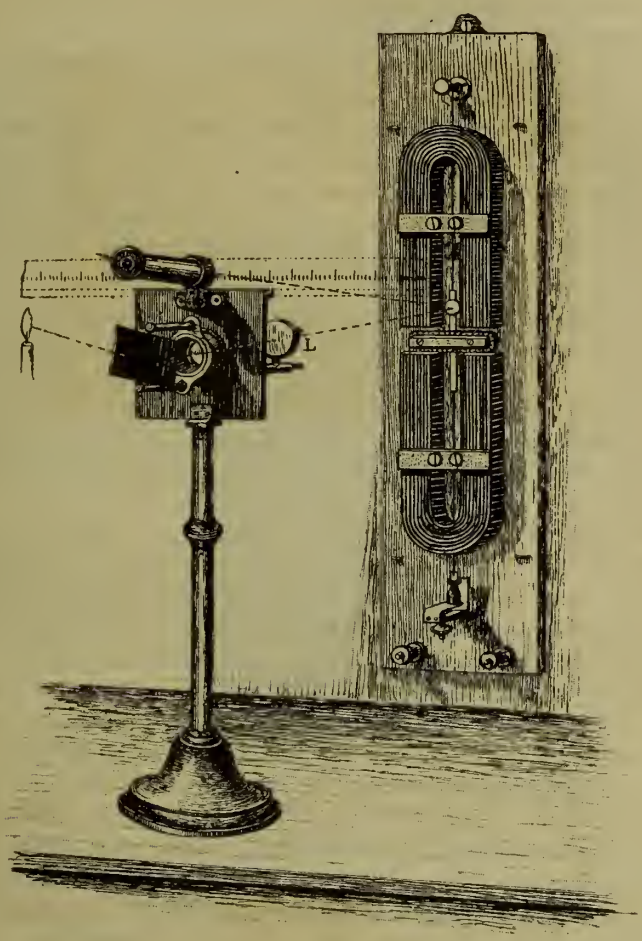

Fig. 4.

transparente de Carpentier, commode lorsqu'on n'a pas besoin de toute la sensibilité de l'appareil.

La lentille L, placée en avant de l'échelle micrométrique, joue un double rôle; elle augmente la clarté de l'image, et de plus, comme elle est mobile sur la tringle qui la porte, on change le grossissement de l'appareil en la faisant glisser.

Le système étant placé à $1^{m},20$ du galvanomètre, on apprécie un déplacement de l'image égal à $1/40^{e}$ de millimètre, soit une déviation angulaire de 1/400 de degré du cercle.

C'est M. Lutz, l'opticien bien connu, qui a construit cet appareil sur mes indications. *Ce mode de lecture n'est applicable qu'aux appareils apériodiques.*

Galvanomètres apériodiques.

Ces instruments sont de deux sortes :

1° Les galvanomètres à aimant mobile.

2° Les galvanomètres à circuit mobile.

C'est en 1880 que j'ai introduit, en électrométrie, les galvanomètres à circuit mobile. Ces appareils ont trois avantages bien précieux : 1° Ils sont absolument apériodiques; 2° La partie mobile n'étant pas magnétique, ils sont soustraits à l'influence du magnétisme terrestre ou des aimants voisins, ce qui les rend précieux pour prendre des mesures dans les usines électriques; 3° Le couple moteur peut être rendu très grand, puisque toutes chose égales d'ailleurs, il est proportionnel au produit de l'intensité du courant à mesurer par l'intensité du champ magnétique. Or on peut rendre ce champ magnétique aussi puissant qu'on le désire.

Mon premier galvanomètre à circuit mobile, construit par M. Carpentier, m'avait été inspiré par le galvanomètre de M. Marcel Deprez, connu sous le nom de *galvanomètre à arête de poisson.*

Dans cet appareil, une aiguille en fer doux, placée dans un cadre galvanométrique, est fortement polarisée par un aimant en fer à cheval qui embrasse le circuit. Cet appareil est à indications rapides, mais, étant fortement dirigé, il est peu sensible. En un mot, *il n'est pas astatique.*

Voici comment M. Marcel Deprez expose dans *La Lumière électrique* (numéro du 7 septembre 1881) l'importante modification que j'ai fait subir à son appareil :

« Lorsqu'on veut une très grande sensibilité, il faut nécessairement se rapprocher « beaucoup de l'astaticité, c'est-à-dire rendre la force directrice très faible, tout en conser- « vant à l'aiguille aimantée (dite arête de poisson) l'aimantation la plus énergique possible.

« Pour satisfaire à ces deux conditions qui, au premier abord, paraissent inconci- « liables, *M. d'Arsonval* a eu l'heureuse idée d'apporter à mon galvanomètre une modi- « fication qui n'en change pas le nombre des organes, mais qui permet de rendre la forme « antagoniste aussi faible qu'on veut, tout en augmentant l'action mécanique du courant « sur l'aiguille. *M. d'Arsonval* a été conduit à cette disposition en remarquant que cette « action mécanique est accompagnée d'une réaction égale et contraire de l'aiguille sur le « courant, et que, par conséquent, *si l'on fixe l'aiguille et que l'on rende le courant « mobile,* ou n'altère pas le moment de l'effort exercé par le cadre galvanométrique sur « l'aiguille, tandis que l'effet antagoniste est annulé. Il est même facile de voir que la force, « qui tend à faire mouvoir le cadre, est plus grande que celle qui est exercée par le cadre « sur l'aiguille, parce que le cadre est. en outre, sollicité à se mouvoir dans la même « direction par l'aimant permanent dans lequel il est enfermé.

Cet appareil repose sur le même principe que le siphon recorder de William Thomson (indiqué par Cl. Maxwell). On voit que je suis arrivé à cette combinaison en partant d'un autre point de vue, et que j'ai aussi transformé *en galvanomètre* un appareil qui jusque-là n'avait été employé que comme récepteur télégraphique.

J'ai donné a cet appareil le nom de *galvanomètre Deprez d'Arsonval* pour rappeler son origine. Ultérieurement il fut bréveté par M. Deprez pour les usages industriels.

M. Carpentier le dispose de la façon suivante : Entre les branches d'un aimant en fer à cheval placé verticalement est suspendu un cadre galvanométrique rectangulaire au moyen de deux fils métalliques reliés l'un au-dessus, l'autre au-dessous du cadre et qui

servent à y amener le courant. Les deux autres extrémités de ces fils sont respectivement fixés à deux points d'attache de telle façon que l'équipage tourne autour de ces deux fils tendus comme axe.

A l'intérieur de ce cadre est fixé, d'une façon indépendante mais immuable, un cylindre de fer doux qui concentre le champ magnétique.

Thermo-galvanomètre.

J'ai imaginé cet appareil (fig. 5), en vue de mesurer la chaleur rayonnante. Sa forme dérive directement du galvanomètre primitif décrit ci-dessus.

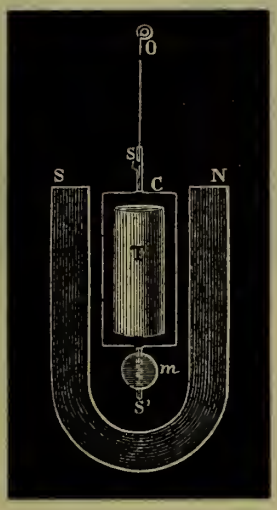

Fig. 5.

Il se compose d'un aimant en fer à cheval SN et du tube de fer doux T dont l'ensemble constitue le double champ magnétique de l'instrument. Un cadre métallique C, suspendu par un fil de cocon O, peut se mouvoir dans le champ. Ce cadre est composé de deux moitiés symétriques faites de métaux différents. La moitié gauche, par exemple, est un fil d'argent, la moitié droite un fil de palladium, ces deux moitiés se soudent l'une à l'autre en S et S'. On a ainsi un circuit thermo-électrique, traversé par un courant si les deux soudures S et S' ne sont pas à la même température. *La pile thermo-électrique et le galvanomètre sont un seul et même appareil.*

L'équipage est orienté par son faible magnétisme ou par un petit brin de fil de fer fixé au cadre. Le miroir *m* sert à lire les déviations et protège la soudure S' contre le rayonnement. On concentre au contraire sur la soudure supérieure S les rayons calorifiques émanant de la source qu'on veut étudier.

L'appareil est absolument apériodique et aussi astatique qu'on peut le désirer. Sa sensibilité est donc des plus considérables et sa capacité calorifique nulle. L'inertie en est très faible et les indications par conséquent extrêmement rapides. On peut en décupler encore la sensibilité en se servant de l'échelle micrométrique décrite ci-dessus.

La fig. 6 représente le même appareil rendu encore plus simple et moins inerte.

Le tube de fer est supprimé et le couple se compose simplement de deux fils métalliques (argent palladium) soudés à leurs extrémités et suspendus au fil de cocon en O. La figure dispense de toute explication.

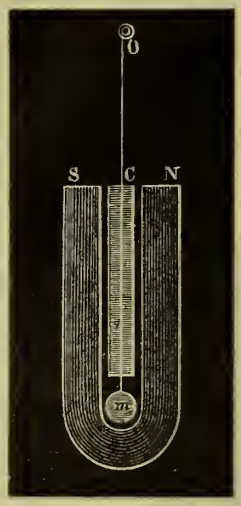

Fig. 6.

Fig. 7.

Galvanomètre apériodique de grande sensibilité.

Cet appareil représenté fig. 4 en perspective et fig. 7 en coupe, conserve le principe général de la conception première. La forme du champ magnétique et le dispositif général ont été néanmoins profondément modifiés en vue du nouveau but à atteindre.

Le cadre galvanométrique est suspendu équatorialement par son plus grand diamètre au moyen de deux fils métalliques AB et CD. Il oscille autour d'un prisme de fer doux F fixe, servant à renforcer le champ magnétique. Deux puissants aimants en fer à cheval NS, N'S', opposés par leurs pôles de mêmes noms, forment autour du cadre un quadruple champ magnétique dont les actions sont concordantes pour dévier le cadre dans une même direction.

Le fil CD est relié à un ressort D permettant à la fois de tendre le fil et de lui donner une torsion autour de son axe pour ramener au zéro. Le fil AB vient s'enrouler sur le treuil B comme dans la balance de Coulomb. Enfin ces deux fils sont fixés au cadre mobile en A et en C à l'aide de simples vis, ce qui permet de les changer avec facilité en cas de rupture.

Par suite de la disposition des aimants le champ magnétique est forcément d'égale intensité dans toute son étendue, ce qui fait que *les déviations de l'appareil sont rigoureusement proportionnelles aux intensités.*

De plus on peut éloigner les aimants sans altérer l'homogénéité du champ, *ce qui diminue la sensibilité de l'appareil sans avoir recours aux shunts.* En se plaçant à 1 mètre de l'appareil avec l'échelle Carpentier et avec des fils de torsion de 15/100 de millimètre de diamètre, l'appareil présente les constantes suivantes :

1° Cadre gros fil ayant 2 ohms de résistance :

$$1 \text{ division de l'échelle} = \frac{1}{2{,}000{,}000} \text{ d'Ampère};$$

2 Cadre fil fin ayant 1000 ohms de résistance :

$$1 \text{ division de l'échelle} = \frac{1}{70{,}000{,}000} \text{ d'Ampère.}$$

Avec l'échelle micrométrique décrite ci-dessus, la sensibilité devient 20 fois plus grande. On peut encore l'augmenter beaucoup en prenant un fil de suspension de 1/10 de millimètre de diamètre seulement.

Ces appareils étant insensibles aux variations du magnétisme terrestre sont excellents pour enregistrer d'une façon continue, comme je le fais par la photographie, les variations de la chaleur ou de l'électricité animale.

Avec une simple soudure composée de 2 fils fer maillechort, le cadre de 2 ohms donne 30 divisions de l'échelle pour une différence de 1 degré centigrade entre les 2 soudures thermo-électriques. Enfin, comme le tout est monté sur une planchette, un simple clou, fixé au mur, sert de support à l'instrument.

Galvanomètre apériodique à aimant mobile.

Le seul appareil qui mérite vraiment ce nom est le galvanomètre des tangentes dans la modification proposée par Wiedemann.

Cet appareil présente le quadruple avantage d'être :

1° Astatique autant qu'on le désire;

2° Apériodique;

3° A sensibilité variable;

4° Différentiel.

C'est un excellent instrument de mesure, beaucoup trop négligé à mon avis, et d'un usage absolument général.

J'en ai fait, ces derniers temps, une étude approfondie et je lui ai donné une forme qui répond, je crois, à tous les besoins.

Dans un prochain article je décrirai en détail l'usage et les avantages du modèle que j'ai fait établir par M. de Branville.

PARIS. — E. DE SOYE ET FILS, IMPR., 18, R. DES FOSSÉS S.-JACQUES.